

## 人体各部位における温冷感覚の感度に関する研究

宮本 征一

摂南大学 工学部 建築学科

### The Sensitivity of Thermal Sensation over Each Part of the Human Body

Seichi MIYAMOTO

Department of Architecture Faculty of Engineering SETSUNAN UNIVERSITY

**Abstract:** Sensitivity of warm or cold sensation over the human body was examined by means of simple local thermo-stimulator, the probe temperature of which was controlled from 23 degrees C to 43 degrees C by thermo-module (peltier element). The difference of temperature and heat flux until it is aware of thermo-stimulus was measured as the sensitivity of warm or cold sensation. As a result, the following things were clarified. The sensitivity of warm or cold sensation in the legs part was blunter than that in other parts. The sensitivity of warm sensation was blunter than the sensitivity of cold sensation. The correlation was between the sensitivity of warm or cold sensation, and warm or cold spot.

#### 1. はじめに

建物の断熱性能と気密性能の向上により、快適な温熱環境が構築されている建築空間が多くなりつつあるが、不均一な温熱環境が形成され、局所的な冷刺激や温刺激により不快感が与えられる建築空間もみられる。逆に、積極的に局所的な冷刺激や温刺激を与える床暖房、冷暖房放射パネルやスポット空調を用いることにより、快適な温熱環境が提供される建築空間も増えつつある。床暖房や冷暖房放射パネルの設計のために床暖房や不均一な放射を有する環境下における研究<sup>1) 2)</sup><sup>3)</sup>も多々行われ、局所的な熱収支と生理心理反応との関係が明らかになりつつある。また、局所的な温冷刺激を与えたときの温冷感覚に関する研究<sup>4)</sup>や冷点と温点の分布を明らかにした上で、局所的な冷刺激や温刺激との関係を明らかにする研究<sup>5) 6)</sup>が行われている。

本研究では、ペルチェ素子による局所的な冷刺激や温刺激を与える装置を製作し、青年男子被験者の各部位に冷刺激または温刺激を与えて温冷刺激を自覚するために必要な温度差、熱流束差を測定し、各部位の温冷感覚の感度を把握することとした。そして、既往研究で明らかとなっている温点密度や冷点密度と温冷感覚の感度との関係や各部位間の温冷感覚の感度の違いを把握することとした。

#### 2. 方法

##### 2.1 局所温冷刺激装置の製作

被験者の各部位の皮膚表面に冷刺激または温刺激を与えるために、図1に示すようなペルチェ素子(40mm×40mm×2.5mm)を2枚、熱流束・温度センサ(captex

製 30mm×30mm×0.4mm)を1枚、ファンを1台用いてセンサプローブを作製した。センサプローブの熱流束・温度センサと刺激を自覚したときに押す刺激自覚スイッチをデータロガ(江藤電気製:CADAC21)に接続した。2枚のサーモモジュールを定電圧装置(高砂製作所製:KX-100L)に接続してPC上で制御した。1枚のペルチェ素子は、センサプローブが人体の各部位に接触したときに温かさや冷たさを感じないように接触面を加温するために、もう1枚は、皮膚との接触後の接触面を冷却または加熱させるために用いた。

##### 2-2 冷刺激または温刺激を与える実験

夏季の気候または冬季の気候に順化していると考えられる8月下旬~10月上旬と11月下旬~12月下旬に、図2に示される恒温恒湿室(Espec製:2.0m×3.0m)内で局所加熱冷却装置を用いて実験を行った。表1に青年男性被験者各13名の身体データを示す。

実験手順は、被験者を前室で暑くも寒くもない状態で30分程度の休憩をさせた後に、身長計(YAGAMI製:YL-655)、体重計(A&D製:GP-100KSR)、体脂肪計(OMRON製:HBF-306)を用いて、身長、体重、体脂肪率を測定し、裸体時の温熱的中立域である温度28℃湿度50%で制御した恒温恒湿室に入室させた。被験者の着衣条件は、上半身は裸体とし下半身は下着の上にショートパンツとした。恒温恒湿室内にて、電子体温計(オムロン製:MC-108L)で舌下温を測定しながら、データロガ(江藤電気製:THERMODAC EF)に接続された0.2mmT型熱電対を図3に示す16部位に貼った。裸体時の温熱的中立域での曝露としたため、実験中は皮膚温の変動はほとんどみられなかった。

被験者に冷刺激または温刺激を自覚したときの申告方法についての説明を行い、冷刺激を与える冷感覚閾値実験を行い、約5~10分間休憩後に、温刺激を与える温感覚閾値実験を行った。実験中の姿勢は、被験者の負担を考慮して、立位では10姿勢（下肋部、腹部、前腕部、手背部、背部、腰部、臀部、大腿後部、下腿後部、大腿前部）を、椅座位では6姿勢（頸部、胸部、前額部、上腕部、下腿前部、足背部）を測定した。

温冷感閾値の測定は、温かくも冷たくも感じない状態に制御したプローブを皮膚に接触させ、熱流束がおおよそ定常状態になる約20秒後から、プローブの接触面の温度を下降または上昇させ、被験者が冷刺激または温刺激を自覚したときに刺激自覚スイッチを押させた。接触面の温度変化の速度によって刺激を自覚する温度差が異なると考えられるため、0.1℃/s、0.3℃/s、0.5℃/sの3条件を温度変化速度の条件とした。

接触面の温度変化の開始時から自覚時までの時間、開始時および自覚時の皮膚の表面温度と熱流束を0.2秒間隔で測定した。温度変化を開始したときの皮膚温と自覚したときの皮膚温との差を、温冷刺激を自覚したときの温度差として求めた。同様に、温度変化を開始したときの熱流束と自覚したときの熱流束との差を、温冷刺激を自覚したときの熱流束差として求めた。

### 3. 結果および考察

図4に冷刺激を自覚したときの温度差を、図5に温刺激を自覚したときの温度差を示す。図6に冷刺激を自覚したときの熱流束差を、図7に温刺激を自覚したときの熱流束差を示す。

#### 3.1 温度変化速度の条件の違いによる検討

図4と図5の温冷刺激を自覚したときの各部位の温度差について、温度変化速度の条件間の母平均の差の検定（T検定）を行ったところ、冷刺激を与えた場合は、夏季実験においてのみ0.3-0.5℃/s条件間で1部位に有意差（有意水準1%）がみられた。温刺激を与えた場合は、夏季実験において0.1-0.3℃/s条件間で1部位、0.3-0.5℃/s条件間で6部位に、冬季実験において0.1-0.3℃/s条件間で1部位、0.3-0.5℃/s条件間で3部位に有意差がみられた。温冷刺激を自覚したときの温度差を用いて温冷感覚の感度を表現すると、標準偏差が平均値に対して比較的に大きな値であったため、温度変化速度の条件間の違いはあまりみられなかった。

図6と図7の温冷刺激を自覚したときの各部位の熱流束差について、温度差と同様な母平均の差の検定を行ったところ、冷刺激を与えた場合は、夏季実験において0.1-0.3℃/s条件間で12部位、0.3-0.5℃/s条件間で6部位に、冬季実験において0.1-0.3℃/s条件

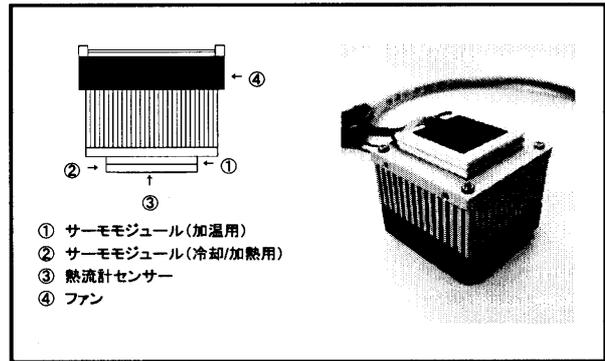


Figure 1 Measuring device

(Temperature and Heat flux sensor probe)

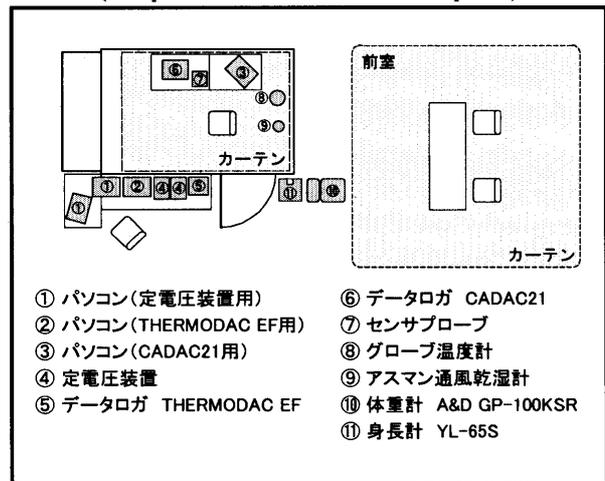


Figure 2 Plan of experimental laboratory

Table 1 Physical characteristics of Subjects

| 被験者  |      | 身長<br>cm | 体重<br>kg | 体表面積<br>m <sup>2</sup> | 体脂肪率<br>% | 年齢<br>歳 |
|------|------|----------|----------|------------------------|-----------|---------|
| 冬季実験 | 平均値  | 171.0    | 64.4     | 1.74                   | 17.3      | 21.2    |
|      | 標準偏差 | 6.8      | 7.2      | 0.12                   | 4.4       | 0.6     |
| 夏季実験 | 平均値  | 170.3    | 61.4     | 1.71                   | 14.8      | 21.3    |
|      | 標準偏差 | 5.2      | 5.4      | 0.08                   | 5.0       | 0.6     |

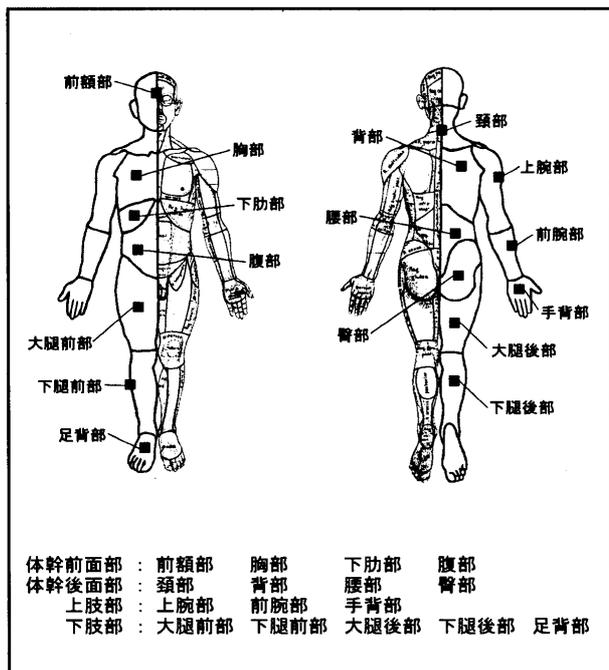


Figure 3 Measuring site

間で9部位、0.3-0.5°C/s条件間で4部位に有意差がみられた。温刺激を与えた場合は、夏季実験において0.1-0.3°C/s条件間で15部位、0.3-0.5°C/s条件間で14部位に、冬季実験において0.1-0.3°C/s条件間で12部位、0.3-0.5°C/s条件間で12部位に有意差がみられた。温冷刺激を自覚したときの熱流束差を用いて温冷感覚の感度を表現すると、過半数以上の部位において温度変化速度の条件間の違いがみられた。

3.2 被験者実験を行なった季節の違いによる検討

図4と図5の温冷刺激を自覚したときの各部位の温度差について、曝露した季節間の母平均の差の検定(T検定)を行ったところ、冷刺激または温刺激を与えた全ての温度変化速度の条件間の全ての部位で有意差(有意水準1%)がみられなかった。

図6と図7の温冷刺激を自覚したときの各部位の熱流束差について、温度差と同様な母平均の差の検定を行ったところ、冷刺激を与えた場合は、0.3°C/s条件の背部においてのみ有意差がみられた。温刺激を与えた場合は、全ての温度変化速度の条件間の全ての部位で有意差がみられなかった。

3.3 各部位間の比較

上記の検討から、曝露した季節の違いが温冷感覚の感度に及ぼす影響はほとんどないことから、夏季実験データと冬季実験データを一つのデータとして取り扱い、各部位間の比較検討を行うこととした。

図8に温冷刺激を自覚したときの温度差を示す。冷感覚については、体幹前面部、体幹後面部、上肢部内の部位は感度が良く、部位間の差は小さくなった。下肢部内の部位は感度が悪く、部位間の差は大きくなった。温感覚については、体幹前面部、上肢部内の部位は感度が良く、部位間の差は小さくなった。体幹後面部では背部と臀部の感度が悪く、部位間の差は大きくなった。下肢部では下腿部より末梢においては感度が悪くなった。腰部と大腿後部以外の部位においては、冷感覚の感度のほうが温感覚の感度より良くなった。

図9に温冷刺激を自覚したときの熱流束差を示す。熱流束差で表現した温冷感覚の感度は温度差で表現した温冷感覚の感度の場合と同様な傾向がみられ、下肢部の温冷感覚の感度は他の部位より悪く、温感覚の感度のほうが冷感覚の感度より悪くなった。

3.4 温点の分布密度や冷点の分布密度との関係

図10に既往研究<sup>5)</sup>で求められている冷点の分布密度と冷感覚の感度(0.3°C/s条件、温度差表現)との関係を示す。冷点の分布密度は5~22個/cm<sup>2</sup>の範囲であり、冷感覚の感度と冷点の分布密度との間には強い相関関係がみられ、相関係数は0.81であった。冷点の分布密度の疎密が冷感覚を自覚する感度に大きく影響を与えていると考えられる。

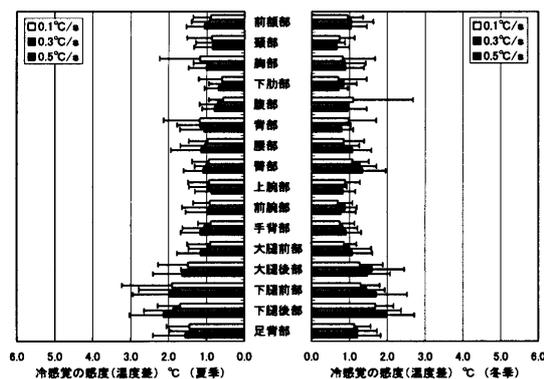


Figure 4 Mean and standard deviation of cold sensitivities by difference of temperature (summer data or winter data)

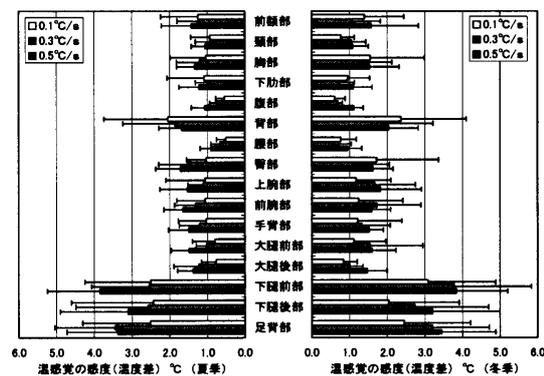


Figure 5 Mean and standard deviation of warm sensitivities by difference of temperature (summer data or winter data)

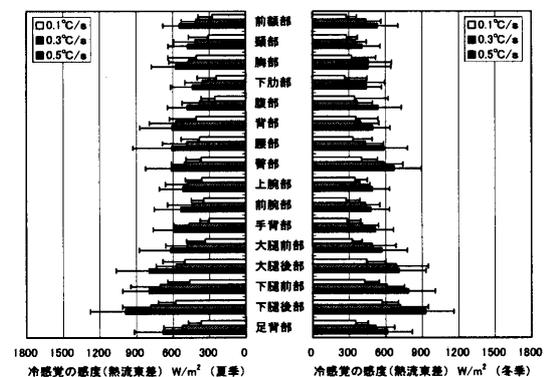


Figure 6 Mean and standard deviation of cold sensitivities by difference of heat flux (summer data or winter data)

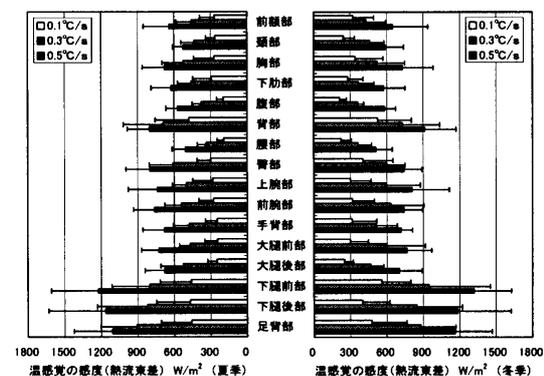


Figure 7 Mean and standard deviation of warm sensitivities by difference of heat flux (summer data or winter data)

図 11 に既往研究<sup>6)</sup> で求められている温点の分布密度と温感覚の感度 (0.3°C/s 条件、温度差表現) との関係を示す。温点の分布密度は 3~6 個/cm<sup>2</sup> の範囲であり、温感覚の感度と温点の分布密度との間には弱い相関関係がみられ、相関係数は 0.30 であった。冷感覚の感度の場合と比較して相関関係は弱くなった。これは、冷点の分布密度が 5~22 個/cm<sup>2</sup> の範囲であるのに対して、温点の分布密度が 3~6 個/cm<sup>2</sup> と少ないことに起因していると考えられる。

#### 4. まとめ

人体の各部位の温冷感覚の感度を把握するために、ペルチェ素子を用いた局所温冷刺激装置を作成した。その装置を用いて、青年男性の被験者の各部位に冷刺激または温刺激を与え、その刺激が自覚されるまでの温度差と熱流束差を温冷感覚の感度として求めた。

その結果、温度変化速度の条件間の差異は、温度差で表現した温冷感覚の感度にはみられなかったが、熱流束差で表現した温冷感覚の感度にはみられた。被験者実験を行った季節間の差異は、ほぼ全ての条件の全ての部位においてみられなかった。下肢部の温冷感覚の感度は他の部位と比較して感度は悪く、温感覚の感度のほうが冷感覚の感度より悪くなった。これは温点と冷点の分布密度に起因していると考えられる。

**謝辞** 本研究の一部として平成 16~18 年度科学研究費補助金若手研究 B (課題番号: 16770189 研究課題: 人体各部位の温冷感知覚を考慮した生理的平均皮膚温と生理心理反応に関する研究) を使用した。

#### 5. 文献

- 1) 堀越哲美ら: 非対称および不均一熱放射環境の人体影響表現方法の研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.413、pp.21-27、1990
- 2) 蔵澄美仁ら: 非対称及び不均一な熱放射環境の人体影響に関する研究: 作用温度一定の場合、日本建築学会計画系論文報告集、No.447、pp.17-26、1993
- 3) 野原宗道ら: 熱放射源の位置が人体皮膚温・温冷感に及ぼす影響、人間と生活環境、No.3、pp.29-37、1996
- 4) 都築和代: 高齢者の温熱感覚特性に関する簡易温冷刺激装置を用いた検討、人間と生活環境、No.2、pp.43-47、1995
- 5) 李旭子ら: 人体表面の温度点分布 (第 1 報) 冷点分布密度の部位差、人間と生活環境、No.2、pp.30-36、1995
- 6) 田村照子ら: 人体表面の温度点分布 (第 2 報) 温点分布密度の部位差、人間と生活環境、No.2、pp.37-42、1995

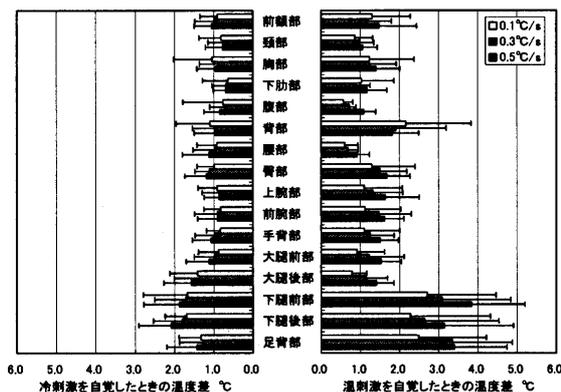


Figure 8 Mean and standard deviation of cold sensitivities or warm sensitivities by difference of temperature

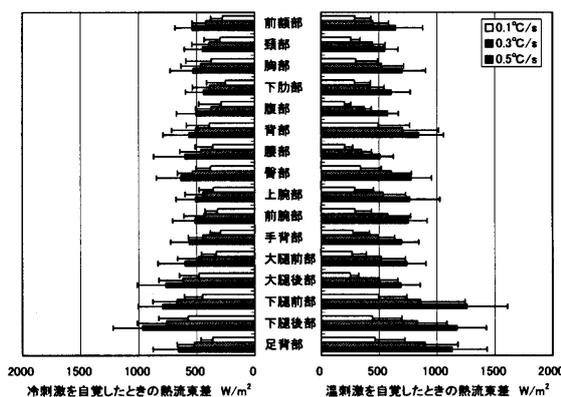


Figure 9 Mean and standard deviation of cold sensitivities or warm sensitivities by difference of heat flux

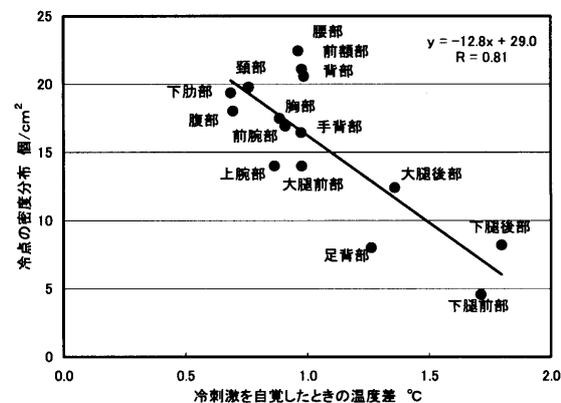


Figure 10 Relationship between cold sensitivity and cold spot

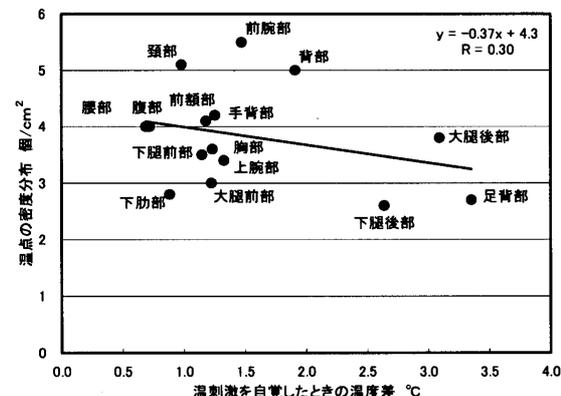


Figure 11 Relationship between warm sensitivity and warm spot